



⑫

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

⑬ Anmeldenummer: 86108125.5

⑮ Int. Cl. 4: H01J 37/28, G01R 31/28,  
H01J 49/06, H01J 37/10

⑭ Anmeldetag: 13.06.86

⑬ Priorität: 14.06.85 DE 3521439

⑰ Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft Berlin  
und München  
Wittelsbacherplatz 2  
D-8000 München 2(DE)

⑭ Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
17.12.86 Patentblatt 86/51

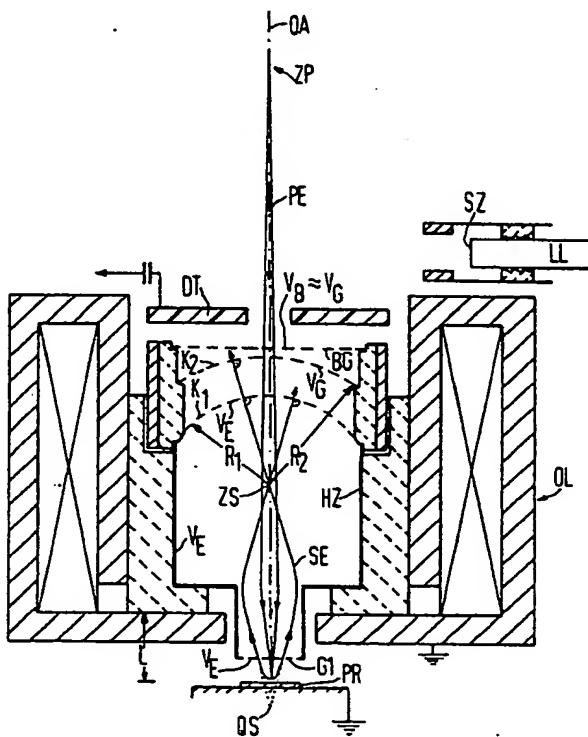
⑰ Erfinder: Piles, Erich, Dr. Dipl.-Phys.  
Delsenhofenerstrasse 79c  
D-8000 München 90(DE)

⑬ Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT NL SE

⑯ Abberrationsarmes Spektrometer-Objektiv hoher Sekundärelektronen-Akzeptanz.

⑰ Das erfindungsgemäße Spektrometer-Objektiv besteht aus einer kurzbrennweitenigen Objektivlinse - (OL) und einer vollständig in diese Magnetrinne integrierten Spektrometer-Detektoranordnung. Mit dieser Anordnung kann der den chromatischen und sphärischen Bildfehler der Objektivlinse (OL) entscheidend beeinflussende Arbeitsabstand (L) reduziert und damit der Durchmesser der Elektronensonde auf der Probe (PR) erheblich verkleinert werden. Ein winkeleunabhängiger Nachweis der an einem Meßpunkt ausgelösten Sekundärelektronen (SE) erfolgt erfindungsgemäß durch eine Abbildung des virtuellen Quellpunktes (QS) der Sekundärelektronen (SE) in das Zentrum (ZS) eines im Raumbereich zwischen zwei kugelsymmetrischen Netzelektroden (K1 und K2) aufgebauten sphärischen Gegenfeldes.

FIG 1



### Aberrationsarmes Spektrometer-Objektiv hoher Sekundärelektronen-Akzeptanz.

Die Erfindung betrifft ein aberrationsarmes Spektrometer-Objektiv hoher Sekundärelektronen-Akzeptanz nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Für quantitative Potentialmessungen an Knotenpunkten und Leiterbahnen in hochintegrierten Schaltungen werden gegenwärtig konventionelle, mit Strahlauftastsystemen und Gegenfeld-Spektrometern ausgerüstete Raster-Elektronenmikroskope eingesetzt. Mit modifizierten Raster-Elektronenmikroskopen lassen sich genügend feine Elektronensonden zur Untersuchung höchstintegrierter Schaltungen mit Strukturen im Sub-Mikrobereich allerdings nicht erzeugen, da diese Geräte zur Vermeidung von Strahlenschäden und Aufladungen der zumeist auf isolierenden Trägersubstanzen angeordneten Bauelementen bei niedrigen Primärelektronen-Energien betrieben werden müssen. Eine deutliche Verbesserung der im wesentlichen durch den axialen Farbfehler der Objektivlinse und die Elektron-Elektron-Wechselwirkung (Boersch-Effekt) begrenzten Ortsauflösung ist nur durch einen kurzen elektronenoptischen Strahlengang mit wenigen Strahlübergreifungspunkten und einer Objektivlinse kurzer Brennweite erreichbar. Der Einsatz kurzbrennweitiger Objektivlinsen mit kurzem Arbeitsabstand zur Reduktion der im wesentlichen durch Brennweite und Arbeitsabstand bestimmten chromatischen und sphärischen Bildfehler scheiterte bisher am Aufbau konventioneller Elektronenstrahl-Meßgeräte, bei denen zwischen Objektivlinse und Probe ein Sekundärelektronen-Spektrometer angeordnet ist.

Erst durch die Entwicklung von Objektivlinsen mit integriertem Sekundärelektronen-Spektrometer (Spektrometer-Objektiv) konnte mit dem Arbeitsabstand die Aberration der Objektivlinse reduziert und damit der Sondendurchmesser auf der Probe verkleinert werden. Ein solches Spektrometer-Objektiv ist aus der Veröffentlichung von Kawamoto "Electron Beam Tester with In the Lens Analyzer" in den Proceedings of the Symposium on Electron-Beam-Testing, 9.-10. Nov. 1984, Osaka, Japan, S. 69-72, bekannt.

Bei dieser bekannten Anordnung handelt es sich um eine magnetische Objektivlinse kurzer Brennweite mit integriertem Parallelplatten-Analysator und einer oberhalb der Objektivlinse angeordneten Elektrode zur Ablenkung der Sekundärelektronen in Richtung eines Detektors.

In diesem bekannten Spektrometer-Objektiv mit ebener Absaug-und Gegenfeldelektrode ist allerdings kein winkelunabhängiger Nachweis der auf der Probe ausgelösten und in einen größeren

Raumwinkelbereich emittierten Sekundärelektronen möglich, so daß die erreichbare Potentialauflösung infolge der hierdurch verursachten Meßfehler begrenzt wird.

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein aberrationsarmes Spektrometer-Objektiv der eingangs genannten Art anzugeben, das eine hohe Sekundärelektronen-Akzeptanz aufweist und mit dem die Sekundärelektronen unabhängig von ihrer Emissionsrichtung an der Meßstelle winkelunabhängig nachgewiesen werden können.

10 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Spektrometer-Objektiv der eingangs genannten Art gelöst, welches die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 aufweist.

15 Der mit der Erfindung erzielbare Vorteil besteht insbesondere darin, daß der Durchmesser der in der elektronenoptischen Säule eines Elektronenstrahl-Meßgerätes erzeugten Elektronensonde auf der Probe reduziert und die Potentialauflösung durch den winkelunabhängigen Nachweis der Sekundärelektronen deutlich gesteigert werden kann.

20 Die Ansprüche 2 bis 10 sind auf bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gerichtet.

25 Das erfindungsgemäße Spektrometer-Objektiv wird nachfolgend anhand der Zeichnungen erläutert. Dabei zeigt:

30 Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektivs,

35 Fig.2 den elektrischen und magnetischen Feldverlauf innerhalb eines Spektrometer-Objektivs nach Fig.1,

40 Fig.3 ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektivs,

45 Fig.4 das Ablenkelement eines Spektrometer-Objektivs nach Fig.3.

Das in Fig.1 dargestellte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektivs besteht aus einer kurzbrennweitigen magnetischen Objektivlinse OL und einer innerhalb dieser Magnetlinse angeordneten Spektrometer-Detektornordnung. Dieses Gesamtsystem bildet eine elektronenoptische Einheit, mit der sowohl die in einer Quelle erzeugten Primärelektronen PE als auch die auf einer Probe PR ausgelösten Sekundärelektronen SE in einen auf der optischen Achse OA liegenden Punkt fokussiert werden. Zur Erzeugung einer feinen Elektronensonde bildet man das durch Kondensorlinsen erzeugte Zwischenbild ZP der Elektronenquelle mit Hilfe des Spektrometer-Objektivs als Teil des strahlformenden Systems verkleinert auf die in der Brennebene der Objektivlinse OL angeordneten Probe PR ab.

Mit dem erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektiv läßt sich ein im Vergleich zu konventionellen Anordnungen sehr kurzer, die chromatischen und sphärischen Bildfehler der Objektivlinse OL und damit den Sondendurchmesser auf der Probe PR entscheidend beeinflussender Arbeitsabstand L erreichen. Zum Nachweis der am Meßpunkt von den hochenergetischen Primärelektronen PE infolge ihrer Wechselwirkung mit der Festkörpersubstanz ausgelösten und in den gesamten Raumwinkelbereich oberhalb der Probe PR emittierten niederenergetischen Sekundärelektronen SE werden diese im elektrischen Feld einer zwischen den Polschuhen der Objektivlinse OL herausragenden ebenen Netzelektrode G1 abgesaugt und in Richtung der optischen Achse OA auf relativ hohe Energien von typischerweise 1 bis 2 keV beschleunigt. Die hochenergetischen Sekundärelektronen SE durchlaufen die Netzelektrode G1 und gelangen in das die Sekundärelektronen SE in einen auf der optischen Achse OA innerhalb der Objektivlinse liegenden Punkt ZS fokussierende Magnetfeld zwischen den Polschuhen. Die Lage dieses Fokussierungspunktes ZS, der als reelles Zwischenbild der unterhalb der Probe PR liegenden virtuellen Sekundärelektronen-Quelle QS zu interpretieren ist, wird bestimmt von der Höhe der positiven Netzelektroden-Spannung  $V_E$  und der von der Primärelektronen-Energie abhängigen Magnetfeldstärke zwischen den Polschuhen der Objektivlinse OL. Die virtuelle Quelle QS ist hierbei durch den kleinsten Kaustikquerschnitt aller virtuellen Sekundärelektronen-Trajektorien unterhalb der Probe PR definiert. Die gemeinsame Fokussierung aller Sekundärelektronen SE im Feld der Objektivlinse OL ist überhaupt nur durch deren Beschleunigung auf hohe kinetische Energien möglich ( $E_{SE} = 1$  bis  $2$  keV), da nur dann die relative Energiebreite  $\Delta E / \bar{E}$  ( $\bar{E}$  = mittlere kinetische Energie der Sekundärelektronen SE) soweit reduziert wird, daß die Bildweiten der am Meßpunkt mit unterschiedlichen kinetischen Energien emittierten Sekundärelektronen SE noch nahezu zusammenfallen.

Die winkelunabhängige Abbremsung und Energieanalyse der Sekundärelektronen SE erfolgt innerhalb der Objektivlinse OL in einem kugelsymmetrischen elektrischen Gegenfeld, das in dem Raumbereich zwischen zwei kugelsymmetrischen, auf unterschiedlichem Potential liegenden Netzelektroden K1 und K2 aufgebaut wird. Derartige Elektrodenanordnungen sind beispielsweise aus der US-PS 4 464 571 bekannt. Die untere Netzelektrode K1 ist erfindungsgemäß über einen sich im Polschuhspalt verjüngenden und konzentrisch zur optischen Achse OA angeordneten Hohlzylinder HZ leitend mit der Absaugelektrode G1 verbunden, so daß zwischen diesen Elektroden ein

5 von elektrischen Feldern freier Raum innerhalb der Objektivlinse OL entsteht. Die obere kugelsymmetrische Netzelektrode K2 wirkt als Gegenfeld-Gitter und liegt typischerweise auf einem Potential  $V_G$  zwischen etwa -15 und +15 Volt. Oberhalb der das Gegenfeld aufbauenden Elektrodenanordnung kann noch ein auf etwa gleichem Potential  $V_B$  - wie die obere Kugelelektrode K2 - liegendes Abschirmgitter BG vorgesehen sein.

10 Ein winkelunabhängiger Nachweis der Sekundärelektronen SE kann nur dann erfolgen, wenn die Sekundärelektronen-Trajektorien parallel zu den elektrischen Feldlinien des Gegenfeldes und damit senkrecht zur Oberfläche der kugelsymmetrischen Netzelektroden K1 und K2 verlaufen. Um dies zu erreichen, wird der virtuelle Quellpunkt QS der Sekundärelektronen SE in das Zentrum des sphärischen Gegenfeldes ZS, d.h. in den auf der optischen Achse OA oberhalb der Polschuhe liegenden Mittelpunkt der kugelsymmetrischen Netzelektroden K1 und K2, abgebildet. Weiterhin ist zu beachten, daß das reelle Zwischenbild ZS der Sekundärelektronen SE auf der optischen Achse OA genügend weit oberhalb des Polschuhspaltes der Objektivlinse OL in einem Raumbereich mit verschwindender magnetischer Induktion B liegt, um eine Larmor-Präzision der Sekundärelektronen SE nach Durchlaufen dieses Zwischenbildes ZS zu vermeiden. Die Fokussierung der Sekundärelektronen SE in einen Punkt ZS der optischen Achse OA, der in einem Raumbereich mit verschwindendem  $B_z(O,0,z)$  liegt, ist umso besser möglich, je kleiner die Energie der Primärelektronen PE und je höher das die Sekundärelektronen beschleunigende Absaugpotential  $V_E$  der Netzelektrode G1 ist.

40 Zum Nachweis der Sekundärelektronen SE ist innerhalb des erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektives ein konzentrisch zur optischen Achse OA angeordneter ringförmiger Detektor DT vorgesehen. Hierfür besonders geeignet sind beispielsweise Halbleiter-Detektoren, Channel-Plates oder Metallplatten mit Elektronenfällen. Außer diesem ringförmigen Sekundärelektronen-Detektor DT kann außerhalb des Spektrometer-Objektives noch ein weiterer konventioneller Sekundärelektronen-Detektor, beispielsweise eine Anordnung aus Szintillator SZ und Lichtleiter LL, zum Nachweis der in Richtung der optischen Achse OA emittierten Sekundärelektronen SE vorgesehen sein.

45 In Fig.2 ist der Verlauf der magnetischen Induktion  $B_z(O,0,z)$  (ausgezogene Linie) und der elektrischen Feldstärke  $E_z(O,0,z)$  (strichpunktierter Linie) zwischen Probe PR und Abschirmgitter BG in Richtung der optischen Achse OA für ein erfindungsgemäßes Spektrometer-Objektiv nach Fig.1 dargestellt. Das Zentrum des sphärischen Gegenfeldes ZS liegt auf der optischen Achse OA in

einem Raumbereich, in dem die magnetische Induktion  $B_{z(0,0,z)}$  verschwindet. Hierdurch wird eine Larmor-Präzision der Sekundärelektronen SE nach Durchlaufen des Zwischenbildes ZS vermieden, so daß deren Trajektorien parallel zu den elektrischen Feldlinien des kugelsymmetrischen Gegenfeldes verlaufen.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Spektrometer-Objektives ist in Fig.3 dargestellt. Auch in dieser Anordnung wird der virtuelle Quellpunkt QS der Sekundärelektronen SE in das innerhalb des Spektrometer-Objektives liegende Zentrum des kugelsymmetrischen Gegenfeldes ZS abgebildet. Dieses Zentrum des sphärischen Gegenfeldes ZS, das mit dem Mittelpunkt der unmittelbar oberhalb der Objektivlinse OL angeordneten kugelsymmetrischen Elektroden K1 und K2 zusammenfällt, liegt innerhalb der Objektivlinse OL auf der optischen Achse in einem Raumbereich, in dem die magnetische Induktion B und das elektrische Feld E verschwinden. Die Absaugelektrode G1 und die untere kugelsymmetrische Elektrode K1 sind wieder durch einen sich im Polschuhspalt verjüngenden und konzentrisch zur optischen Achse OA angeordneten Hohlzylinder HZ leitend miteinander verbunden, so daß im Innern der Objektivlinse OL ein von elektrischen Feldern freier Raum entsteht. Oberhalb der das kugelsymmetrische Gegenfeld erzeugenden Elektroden K1 und K2 befindet sich eine Elektrodenanordnung zur Ablenkung und Beschleunigung der Sekundärelektronen SE in Richtung eines in Fig.2 nicht dargestellten Detektors DT. Dieses Ablenkelement, das in Fig.4 im Schnitt senkrecht zur optischen Achse OA dargestellt ist, besteht vorteilhaftweise aus einer auf positivem Potential  $V_{DN}$  liegenden Netzelektrode DN und einer symmetrisch dazu angeordneten, auf negativem Potential  $V_{DE}$  liegenden Ablenkelektrode DE, die zusammen mit den zwischen diesen Elektroden liegenden Gehäuseteilen GH die Mantelfläche eines konzentrisch zur optischen Achse OA angeordneten Hohlzylinders bilden. An die Netzelektrode DN und die Ablenkelektrode DE werden vorteilhaftweise dem Betrag nach gleiche Spannungen  $|V_{DE}| = |V_{DN}|$  zwischen 100 und 150 Volt angelegt. Um Durchgriffe des Netzelektroden-Potentials  $V_{DN}$  in den Raum zwischen den kugelsymmetrischen Elektroden K1 und K2 zu vermeiden, kann noch ein Abschirmgitter BG zwischen dem Ablenkelement und der Netzelektrode K2 vorgesehen sein. Dieses Abschirmgitter BG liegt auf etwa dem gleichen Potential wie die Kugelelektrode K2 ( $V_G \approx V_B$ ).

### Ansprüche

1. Spektrometer-Objektiv für quantitative Potentialmessungen in der Elektronenstrahl-Meßtechnik, bei dem eine Objektivlinse (OL) zur Fokussierung eines Primärelektronenstrahles (PE) auf eine Probe (PR) und ein elektrostatisches Gegenfeld-Spektrometer, das eine Elektrodenanordnung (G1) zum Absaugen der an einer Meßstelle vom Primärelektronenstrahl (PE) ausgelösten Sekundärelektronen (SE) und eine Elektrodenanordnung (K1, K2) zur Erzeugung eines die Sekundärelektronen (SE) abbremsenden elektrischen Gegenfeldes aufweist, eine elektronenoptische Einheit bilden, und dem eine Detektoranordnung zum Nachweis der Sekundärelektronen (SE) zugeordnet ist,

dadurch gekennzeichnet,

-daß die Gegenfeld-Elektrodenanordnung zwei kugelsymmetrische Elektroden (K1, K2) aufweist, deren Potentiale ( $V_D, V_E$ ) so gewählt sind, daß sich im Raum zwischen diesen Elektroden ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbaut,

-daß die Mittelpunkte dieser kugelsymmetrischen Elektroden (K1, K2) in einem auf der optischen Achse (OA) des Spektrometer-Objektivs oberhalb der Polschuhe liegenden Punkt (ZS) zusammenfallen,

-daß dieser, das Zentrum des kugelsymmetrischen Gegenfeldes definierende Punkt (ZS) in einem feldfreien Raum innerhalb der Objektivlinse (OL) liegt und

-daß die im elektrischen Feld der Absaugelektrodenanordnung (G1) beschleunigten Sekundärelektronen (SE) im magnetischen Feld der Objektivlinse (OL) in das Zentrum des kugelsymmetrischen Gegenfeldes (ZS) fokussiert werden.

2. Spektrometer-Objektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines von elektrischen Feldern freien Raumes im Innern der Objektivlinse (OL) die Elektrodenanordnung (G1) zum Absaugen der Sekundär elektronen (SE) und die der Probe (PR) nächstliegende kugelsymmetrische Elektrode (K1) durch einen, sich im Polschuhspalt verjüngenden und konzentrisch zur optischen Achse angeordneten Hohlzylinder (HZ) leitend verbunden sind.

3. Spektrometer-Objektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbauende Elektrodenanordnung (K1, K2) oberhalb der Polschuhe im Innern der Objektivlinse (OL) angeordnet ist.

4. Spektrometer-Objektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein konzentrisch zur optischen Achse angeordneter ringförmiger Sekundärelektronen-Detektor (DT) oberhalb der das kugelsymmetrische Gegenfeld aufbauenden Elektrodenanordnung (K1, K2) im Innern der Objektivlinse (OL) vorgesehen ist.

5. Spektrometer-Objektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß oberhalb des konzentrisch zur optischen Achse im Innern der Objektivlinse (OL) angeordneten ringförmigen Sekundärelektronen-Detektors (DT) ein weiterer Sekundärelektronen-Detektor vorgesehen ist.

6. Spektrometer-Objektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbauenden Elektrodenanordnung (K1, K2) und dem ringförmigen Sekundärelektronen-Detektor (DT) eine Abschirmgitter (BG) vorgesehen ist.

7. Spektrometer-Objektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbauende Elektrodenanordnung (K1, K2) unmittelbar oberhalb der Objektivlinse (OL) angeordnet ist.

8. Spektrometer-Objektiv nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß oberhalb der ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbauenden Ele-

trodenanordnung (K1, K2) eine Anordnung (DE, DN) zur Ablenkung und Beschleunigung der Sekundärelektronen (SE) in Richtung eines Detektors (DT) vorgesehen ist.

5 9. Spektrometer-Objektiv nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung - (DE, DN) zur Ablenkung und Beschleunigung der Sekundärelektronen (SE) in Richtung eines Detektors (DT) eine auf positivem Potential ( $V_{DN}$ ) liegende Netzelektrode (DN) und eine symmetrisch dazu angeordnete, auf negativem Potential ( $V_{DE}$ ) liegende Ablenkelektrode (DE) aufweist, die zusammen mit den zwischen diesen Elektroden (DE, DN) angeordneten Gehäuseteilen (GH) die Mantelfläche

10 eines Hohlzylinders bilden, dessen Symmetriachse mit der optischen Achse (OA) zusammenfällt.

15 10. Spektrometer-Objektiv nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der ein kugelsymmetrisches Gegenfeld aufbauenden Elektrodenanordnung (K1, K2) und der Anordnung (DE, DN) zur Ablenkung und Beschleunigung der Sekundärelektronen (SE) in Richtung eines Detektors (DT) eine Abschirmgitter - (BG) vorgesehen ist.

30

35

40

45

50

55

5

FIG 1

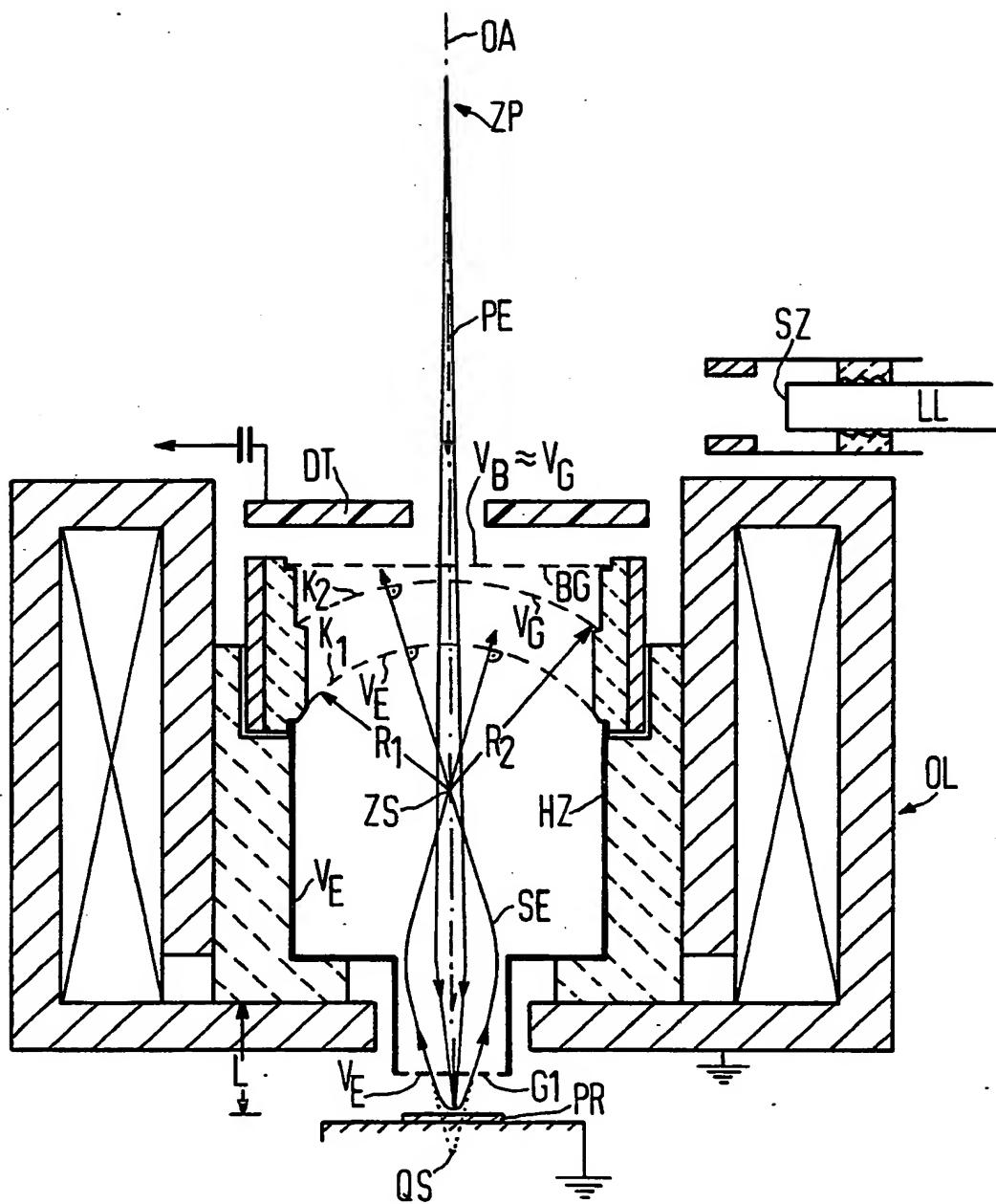


FIG 2

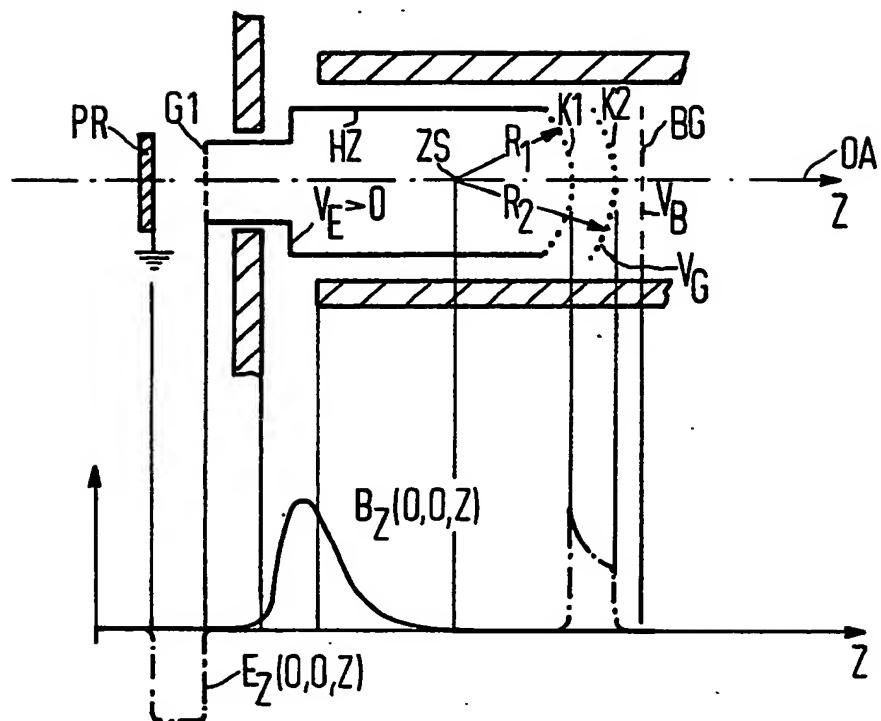


FIG 4

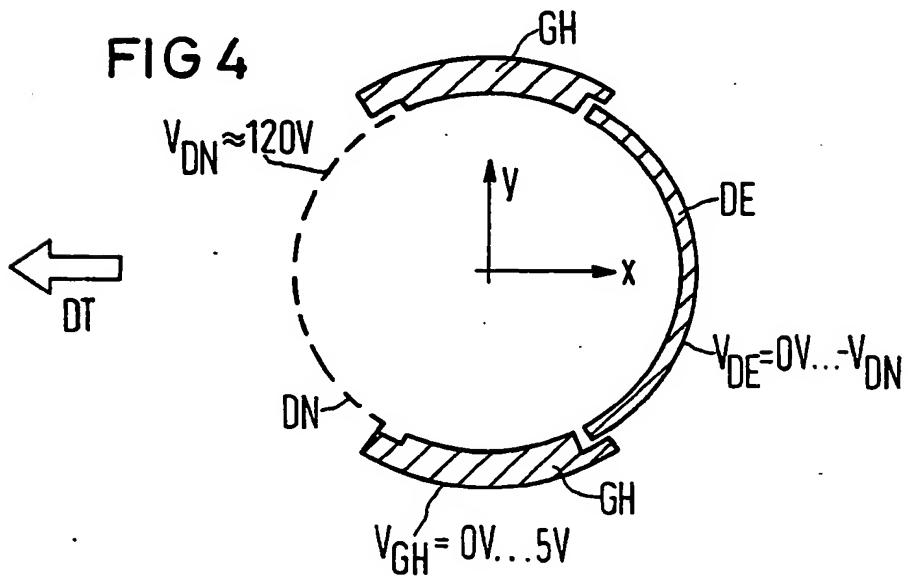


FIG 3

